"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و پنجم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲

مقاله پژوهشی

DOR: 20.1001.1.23223243.2021.19.1.29.0

ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش جو آبی (*Hordeum vulgare* L.) در شرایط اقلیم معتدل ایران با استفاده از روش GGE بای‌پلات

Evaluation of grain yield stability of irrigated barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in temperate agro-climatic conditions of Iran-using GGE biplot analysis

علی براتی[۱]، حمیدرضا نیکخواه چمن‌آباد[۲]، الیاس آرزمجو[۳]، سید علی طباطبائی[۴]، مهرداد محلوجی[۵]، مجید طاهریان[۶]، سیروس طهماسبی[۷]، فضل‌اله حسنی[۸] و منوچهر طاهری مازندرانی[۹]

چکیده

براتی، ع.، ح.ر. نیکخواه چمن‌آباد، ا. آرزمجو، س.ع. طباطبائی، م. محلوجی، م. طاهریان، س. طهماسبی، ف. حسنی و م. طاهری مازندرانی. ۱۴۰۲. ارزیابی پایداری عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش جو آبی (*Hordeum* vulgare L.) در شرایط اقلیم معتدل ایران با استفاده از روش GGE بای‌پلات. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۵ (۲): ۱۶۹ -۱۵٤.**

هدف از این تحقیق ارزیابی برهمکنش ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه لاین‌های امیدبخش جو آبی جهت انتخاب لاین‌های پرمحصول و پایدار برای مناطق معتدل ایران بود. برای این منظور ۱۹ لاین امید بخش جو همراه با رقم بهرخ (شاهد) در هشت ایستگاه تحقیقاتی کرج، ورامین، نیشابور، مشهد، بیرجند، یزد، اصفهان و شیراز (زرقان) به مدت دو سال (۱٤۰۰-۱۳۹۹ و ۱٤۰۱-۱٤۰۰) مورد ارزیابی قرار گرفتند. تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثرهای ساده مکان و ژنوتیپ و برهمکنش دوگانه سال و مکان، برهمکنش سه گانه ژنوتیپ و سال و مکان معنی‌دار بودند. به‌منظور ارزیابی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، از تجزیه گرافیکی GGEبای‌پلات به سه روش داده‌های سال اول، داده‌های سال دوم و میانگین داده‌های دو سال استفاده شد. نتایج حاصل از تجزیه GGE بای‌پلات نشان داد که در سال اول آزمایش دو مولفه اصلی اول و دوم به‌ترتیب ۳۲/۹ و ۲۵/۳ درصد، در سال دوم به‌ترتیب ۲۸/۹ و ۲٤/٦ درصد و در میانگین دو سال به‌ترتیب ۳۱/۰۲ و ۱۹/۰۲ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند. ژنوتیپ‌های ۳، ٤، ۱۱، ۱۳ و ۱۲ (به‌ترتیب با ٦٦۷۳ و ٦٦٦۳ و ٦٤۱۲ و ٦۳٤۰ و ٦۲٤۹ کیلوگرم در هکتار) بالاترین عملکرد دانه را داشتند. در سال اول آزمایش، ژنوتیپ‌های ۳، ٤ و ۱۱، در سال دوم ژنوتیپ‌های ۱۲ و ٤ و در میانگین دو سال ژنوتیپ‌های ۳ و ٤ نزدیک‌ترین ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ مطلوب شناخته شدند. براساس نتایج این تحقیق، ژنوتیپ‌های ۳ و ٤ به عنوان ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و پایدار برای کشت در مناطق معتدل و یا استفاده در برنامه‌های به‌نژادی جو آبی ایران شناخته شدند. در بین هشت محیط مورد مطالعه، ایستگاه کرج از توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها و نماینده بودن سایر محیط‌ها برخوردار بود و به عنوان مکان آزمایش مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر شناخته شد.

واژه‌های کلیدی: آزمایش‌های چند مکانی، مناطق معتدل، برهمکنش ژنوتیپ و محیط و جو آبی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۶ این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی شماره ۹۹۱۱۱۴-۱۳۴-۰۳-۰۳-۰ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر می‌باشد

۱- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: barati32@yahoo.com)
۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران
۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان جنوبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بیرجند، ایران
۴- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد، ایران
۵- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۶- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کاشمر، ایران
۷- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۸- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران
۹- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران

Evaluation of grain yield stability of irrigated barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in temperate agro-climatic conditions of Iran-using GGE biplot analysis

Barati. A.[1], H.R. Nikkhah Chamanabad[2], E. Arazmjoo[3], S.A. Tabatabaei[4], M. Mahlooji[5], M. Taherian[6], S. Tahmasebi[7], F. Hassani[8] and M. Taheri Mazandrani[9]

ABSTRACT

Barati. A., H. Re. Nikkhah Chamanabad, E. Arazmjoo, S. A. Tabatabaei4, M. Mahlooji, M. Taherian, S. Tahmasebi, F. Hassani and M. Taheri Mazandrani. 2023. Evaluation of grain yield stability of irrigated barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in temperate agroclimatic conditions of Iran-using GGE biplot analysis**. Iranian Journal of Crop Sciences. 25(1): 154-169. (In Persian).**

Introduction: The genotype and environment interaction is one of the main challenges in the breeding of different crop plants and causes different genotypes to perform differently under different environments. Assessment of genotypes and environment interaction for quantitative traits such as grain yield is very important for development of new improved cultivars.

Materials and Methods: Nineteen barley promising lines together with a commercial barley cultivar (cv. Behrokh as check) were evaluated across eight agricultural research stations in Karaj, Varamin, Neishabour, Mashhad, Birjand, Yazd, Isfahan and Shiraz (Zarghan) in 2020-21 and 2021-22 cropping seasons. Combined analysis of variance was performed for grain yield, andGGE bi-plot graphic analysis used fore the assessment of grain yield stability of barley promising lines.

Results: The results of combined analysis of variance showed that the effects of location, genotype, year × location and genotype × year × location interaction effect were significant on grain yield. Mean comparison, using LSD test, showed that promising lines; No. 3, No. 4, No. 11, No. 12 and No. 13 with grain yield of 6673, 6663, 6412, 6340 and 6249 $kg.ha^{-1}$, respectively, were high yielding compared with cv. Behrokh as well as others. The grain yield stability analysis facilitated to identify promising lines with with high grain yield and yield stability. In the first year lines; No. 3, No. 4 and No. 11, in the second year lines; No. 4 and No. 12 and in the two years lines; No. 3 and No. 4 were close to the ideal genotype.

Conclusion: Barley promising lines; No. 3 and No.4 were identified as high yielding with high yield stability. These promising lines are adapted to temperate agro-climatic condition in Iran and can be used in irrigated barley breeding programs. Of the eight test locations, Karaj was the most discriminative and representative environment. Therefore, this location can be recommended as a suitable test location for the selection of superior genotypes adapted temperate agro-climate conditions in Iran.

Key words: Genotype × environment Interactions, Irrigated barley, Multi-environment trials and Temperate regions

Received: September, 2023 **Accepted: October, 2023**

1. Assistant Prof., Seed and Plant Improvement Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran (Corresponding author) (Email: barati32@yahoo.com)
2. Associate Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Razavi Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Mashhad, Iran
3. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Birjand, Iran
4. Associate Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yazd, Iran
5. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran
6. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Razavi Khorsan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kashmar, Iran
7. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
8. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran
9. Assistant Prof., Field and Horticultural Crops Science Research Department, Tehran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Varamin, Iran

مقدمه

گیاه جو (*Hordeum vulgare* L.) قابلیت کشت در شرایط مختلف محیطی را دارا بوده و در مقایسه با سایر غلات، به تنش شوری و خشکی تحمل بیشتری دارد (Vaezi *et al.*, 2019). دانه جو حاوی مواد معدنی، فسفر، کلسیم، الیاف، مقدار متوسطی پروتئین و مقدار کمی ویتامین ب می‌باشد (Fatemi *et al.*, 2022). در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰ سطح زیر کشت جو آبی در ایران ۷۴۹۷۲۴ هکتار (۱۱/۵ درصد از کل سطح زیر کشت گیاهان زراعی) و تولید آن ۲۳۹۵۱۹۳ تن (۳/۰۳ درصد از کل تولید گیاهان زراعی) بوده است. استان‌های خراسان رضوی، فارس، اصفهان، همدان و مرکزی به‌ترتیب با تولید ۴۰۲۴۳۳، ۲۲۷۸۵۵، ۲۱۹۳۴۷، ۱۹۴۴۱۱ و ۱۶۵۸۵۸ تن، رتبه‌های اول تا پنجم تولید جو را داشتند (Anonymous, 2023). در سال‌های اخیر کمبود نهاده‌های دامی از جمله جو، یکی از مشکلات اصلی فعالان صنعت دامپروری بوده است. برای رفع این مشکل می‌توان سطح زیر کشت و یا میزان عملکرد در واحد سطح را افزایش داد. با توجه به کم توقع بودن گیاه جو نسبت به شرایط آب و خاک، این گیاه می‌تواند جایگاه مناسبی را در اکثر اراضی کم‌حاصلخیز، شور و مناطق کم آب کشور داشته باشد.

با توجه به هزینه‌بر و زمان‌بر بودن اصلاح ارقام سازگار برای هر محیط به‌صورت جداگانه، تلاش می‌شود ارقامی معرفی شوند که برای چند منطقه مختلف قابل توصیه باشند. وجود برهمکنش ژنوتیپ و محیط یکی از چالش‌های اصلی در به‌نژادی گیاهان زراعی است که باعث می‌شود ژنوتیپ‌های مختلف به‌دلیل تاثیر پذیری از عوامل محیطی، در محیط‌های مختلف عملکرد یکسانی نداشته باشند. به عبارت دیگر بهترین ژنوتیپ در یک محیط در محیط‌های دیگر ممکن است بهترین نباشد و علت آن نیز پاسخ متفاوت ژن‌ها و یا قدرت تظاهر متفاوت آنها در محیط‌های مختلف است. یکی از اقدامات اساسی برای تولید ارقام اصلاح‌شده، ارزیابی ماهیت برهمکنش‌هایی است که بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها برای صفات کمی مانند عملکرد دانه وجود دارد (Ebem *et al.*, 2021). عملکرد یک رقم زراعی در محیط‌های مختلف (سال‌ها، مکان‌ها و ترکیب سال و مکان) ممکن است متفاوت از هم باشد. وجود برهمکنش ژنوتیپ در محیط یکی از مشکلات اساسی به‌نژادگران برای اصلاح ارقام پرمحصول و پایدار می‌باشد (Moussa *et al.*, 2011). نتایج تحقیقات نشان داده است که عملکرد دانه جو متاثر از عوامل مختلف محیطی است (Khalili and Pour-Aboughadareh, 2016; Vaezi *et al.*, 2019, Ahakpaz *et al.*, 2021; Hilmarsson *et al.*, 2021; Ghazvini *et al.*, 2022) و در نتیجه بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط نقش مهمی در انتخاب ژنوتیپ‌ها و محیط‌های مناسب تولید دارد.

آزمایش‌های چند مکانی نقش مهمی در انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب برای کشت در سطح وسیع را دارند، ولی به‌منظور استفاده صحیح از این روش لازم است درک درستی از اثر متقابل ژنوتیپ و محیط وجود داشته باشد (Gumede *et al.*, 2022). در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف، مجموع اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط در انتخاب ژنوتیپ‌های پایدار از اهمیت زیادی برخوردار است و به همین علت باید اثر ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط به صورت هم‌زمان مورد بررسی قرار گیرند. روش‌های آماری متعددی جهت بررسی برهمکنش ژنوتیپ و محیط در آزمایشات چند مکانی وجود دارد که یکی از بهترین روش‌ها، تجزیه GGE (Genotype+Genotype×Environment) بای‌پلات است. این روش برای ارزیابی بصری و تجزیه گرافیکی داده‌های آزمایش‌های چند مکانی از طریق ایجاد یک بای‌پلات می‌باشد (Yan *et al.*, 2007). روش GGEبای‌پلات بر پایه تجزیه به مولفه‌های اصلی بوده و در انواع گیاهان زراعی برای تجزیه داده‌های آزمایش‌های ناحیه‌ای مفید و کاربردی هستند (Rad *et al.*, 2013; Xu *et*

.al., 2013; Solonechnyi *et al.*, 2015; Erdemci, 2018) براتی و همکاران (Barati *et al.*, 2021) پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های پرمحصول ۱۷ ژنوتیپ امیدبخش جو آبی را همراه با دو رقم شاهد در پنج ایستگاه (اهواز، داراب، زابل، گنبد و مغان) را با استفاده از روش تجزیه گرافیکی GGEبای‌پلات در دو سال مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که دو ژنوتیپ با کمترین فاصله از ژنوتیپ مطلوب، برتر بودند و ایستگاه مغان نیز به‌عنوان نزدیک‌ترین محیط به محیط مطلوب شناخته شد. با استفاده از روش تجزیه گرافیکی GGEبای‌پلات چهار هدف قابل دستیابی هستند (Yan and Tinker, 2006)، ۱- انتخاب ژنوتیپ برتر برای یک محیط، ۲- شناسایی محیط هدف برای یک ژنوتیپ مشخص، ۳- تعیین قدرت تمایز و نماینده بودن محیط‌ها برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها، ۴- بررسی روابط متقابل بین محیط‌ها و ۵- رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد و میزان پایداری.

هدف از اجزای این تحقیق استفاده از مدل GGEبای‌پلات به‌منظور شناسایی ژنوتیپ/های دارای عملکرد مطلوب و پایدار برای معرفی به عنوان رقم تجاری و یا استفاده از آنها در برنامه‌های به‌نژادی بود.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق ۱۹ لاین امیدبخش جو آبی (جدول ۱) همراه با رقم بهرخ (شاهد) در هشت ایستگاه اقلیم معتدل کشور شامل کرج، ورامین، نیشابور، مشهد، بیرجند، یزد، اصفهان و شیراز (شکل ۱) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۴۰۱-۱۴۰۰) مورد ارزیابی قرار گرفتند. ژنوتیپ ۱۸ از مواد ژنتیکی دریافتی از مرکز تحقیقات بین المللی کشاورزی برای مناطق خشک (ICARDA) و بقیه ژنوتیپ‌ها از تلاقی‌های انجام شده در برنامه ملی به‌نژادی جو آبی ایران حاصل شده‌اند. تلاقی‌های اولیه در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ انجام شده و بعد از انتخاب در نسل‌های در حال تفکیک، آزمایش‌های ارزیابی مشاهده‌ای، ارزیابی مقدماتی عملکرد و ارزیابی پیشرفته در چند مکان برای ارزیابی پایداری عملکرد دانه و سازگاری اجرا شدند. کاشت در هر هشت ایستگاه تحقیقاتی با استفاده از دستگاه بذرکار مدل وینتاشتایگر مخصوص آزمایش‌های غلات در شش ردیف کاشت به فاصله ۲۰ سانتی‌متر روی دو پشته به طول شش متر و تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع انجام شد.

تاریخ کاشت در یک محدوده زمانی خاص و در آبان در کلیه ایستگاه‌ها انجام شد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن برگ و نازک برگ از علف‌کش‌های گرانستار و پوماسوپر در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه‌رفتن استفاده شد. تعداد دفعات آبیاری یک نوبت در پاییز و چهار نوبت در بهار بود. در مرحله رسیدگی پس از حذف ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر ردیف کاشت، عملکرد دانه هر ژنوتیپ با برداشت محصول شش مترمربع از هر کرت (با رطوبت ۱۲ درصد) محاسبه شد. تجزیه واریانس پس از اطمینان از یکنواختی واریانس‌های خطای آزمایش و آزمون F، بر اساس امید ریاضی میانگین مربعات و با فرض تصادفی بودن مکان‌ها و سال‌ها و ثابت بودن ژنوتیپ‌ها انجام شد. برای انتخاب ژنوتیپ‌های دارای عملکرد دانه مطلوب و پایدار در ابتدا مقایسه میانگین انجام شد و ژنوتیپ‌های پرمحصول شناسایی شدند. بعد از انجام آزمون معنی‌داری برهمکنش‌ها جهت بررسی پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا، تجزیه گرافیکی GGEبای‌پلات با استفاده از نرم‌افزار GenStat ver.12 انجام شد (GENSTAT, 2008). مقایسه میانگین‌ها با آستفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) انجام شد. به منظور بررسی تکرار پذیری نتایج، تجزیه GGEبای پلات به سه روش؛ داده‌های سال اول، داده‌های سال دوم و میانگین داده‌های دو سال انجام شد.

جدول ۱- شجره لاین های امیدبخش جو مورد ارزیابی

Table 1. Pedigrees of promising lines of barley used in the experiment

لاین های امیدبخش جو Barley promising lines	منشاء Origin	شجره Pedigree
1(Check-1)	Iran	Behrokh
2	Iran	Michailo/Dobrinya//Yousef
3	Iran	26216/4/Arar/3/Mari/Aths*2//M-Att-73-337-1/5/Nosrat
4	Iran	82S:510/3/Arinar/Aths//DS 29/4/Sahra
5	Iran	82S:510/3/Arinar/Aths//DS 29/4/**Sahra**
6	Iran	Kavir/Badia/3/Torsh//9cr.279-07/Bgs/4/Karoon/Kavir/5/**Sahra**
7	Iran	Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/**Sahra**
8	Iran	Anoidium//Alanda/Hamra-01/3/Lignee527/Nk1272//JLB70-63/4/**Nik**
9	Iran	Anoidium//Alanda/Hamra-01/3/Lignee527/Nk1272//JLB70-63/4/**Nik**
10	Iran	Arbayan/Nk1272/4/Arar/3/Mari/Aths*2//M-alt-73-337-1/5/**Yousef**
11	Iran	Yousef/3 / **Dasht//Ebc(a)/Badia/4/Nik**
12	Iran	Canela/3/Hegegs679.82/Shyri//Laurel/4/Cerise/Shyri//… /5/Malouh//Aths/Lignee686/6/Nik
13	Iran	Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/**Sahra**
14	Iran	ZBL-2640/**Nosrat**
15	Iran	Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/**Yousef**
16	Iran	Ashar/Beecher/5/Lignee 527/Chn-01//Gustoe/4/Rhn-08/3/Deir Alla 106//Dl71/Strain 205
17	Iran	Ashar/Beecher/3/Lignee527/NK1272//JLB70-63
18	ICARDA	BREA/DL70//TOCTE/3/BREA/DL70//CABUYA/4/TRADITION
19	Iran	Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....)/4/**Sahra**
20	Iran	Lignee 527/NK1272//JLB 70-63/4/Bgs/Dajia//L.1242/3/(L.B.IRAN/Una8271//Gloria'S'/3/Alm/Una80//....) (MB-97-3)

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌های مربوط به عملکرد دانه نشان داد که اثرهای ساده مکان و ژنوتیپ و برهمکنش‌های سال و مکان و ژنوتیپ و سال و مکان معنی‌دار بودند، یعنی بین ژنوتیپ‌های جو از نظر عملکرد دانه تفاوت‌های ژنتیکی معنی‌داری وجود داشت. معنی‌دار بودن برهمکنش سه گانه نشان می‌دهد که عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو در مکان‌های مختلف و در سال‌های مختلف یکسان نبوده است. معنی‌دار بودن برهمکنش ژنوتیپ و مکان نشان می‌دهد که بیان فنوتیپی یک ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در یک مکان برتر و در سایر مکان‌ها نامطلوب بوده است (Sadiya and Hadi, 2016). با توجه به عدم معنی‌داری برهمکنش ژنوتیپ و مکان نتیجه گرفته می‌شود که نمی‌توان برای مکان‌های مختلف، ژنوتیپ‌های دارای سازگاری خصوصی معرفی کرد و لازم است نسبت به شناسایی ژنوتیپ/های دارای سازگاری عمومی اقدام کرد. به علت معنی‌دار بودن برهمکنش سه‌گانه، انتخاب ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و پایدار بر اساس نتایج تجزیه مرکب و مقایسه میانگین عملکرد دانه کافی نبوده و لازم است میزان پایداری عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها مورد بررسی قرار گیرد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نسبت به رقم بهرخ و سایر ژنوتیپ‌ها عملکرد بالاتر معنی‌داری داشته و می‌توانند مورد توجه قرار گیرند، ولی با توجه به معنی‌دار شدن اثر برهمکنش سه‌گانه، پایداری عملکرد دانه این ژنوتیپ‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت تا ژنوتیپ/های دارای عملکرد مطلوب و پایدار شناسایی شوند (جدول ۲).

نتایج حاصل از تجزیه GGE بای‌پلات نشان داد که دو مولفه اصلی اول (ژنوتیپ) و دوم (برهمکنش ژنوتیپ و محیط) به‌ترتیب ۳۲/۹ و ۲۵/۳ درصد در سال اول، ۲۸/۹ و ۲۴/۶ درصد در سال دوم و ۳۱/۰۲ و ۱۹/۰۲ درصد در میانگین دو سال از تغییرات کل داده‌ها را توجیه کردند و در نتیجه این دو مولفه می‌توانند به

جدول ۲- میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) لاین‌های امید بخش جو و مناطق معتدل ایران در هشت مکان و مقایسه با میانگین کل (۱۳۹۹ تا ۱۴۰۱)

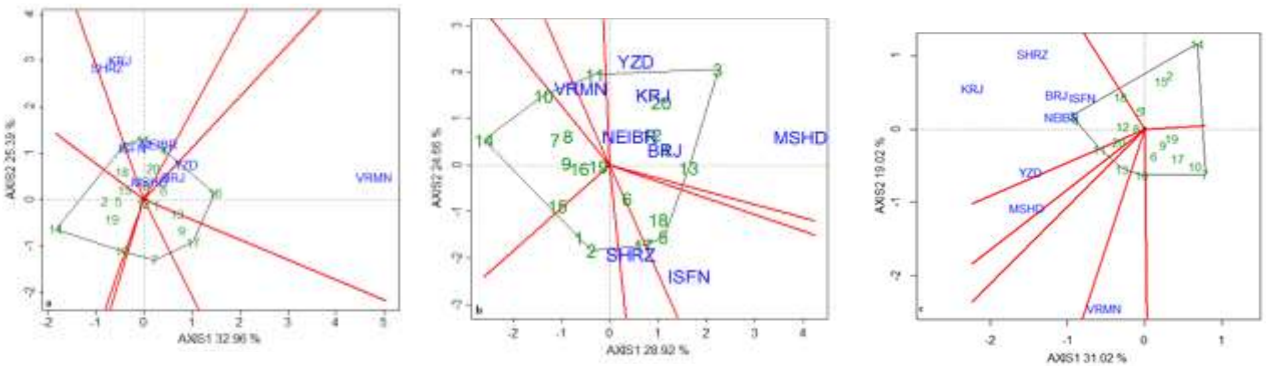
Table 2. Mean of grain yield (kg.ha^{-1}) of promising lines of barley at eight location of temperate regions of Iran and the comparison of the total average of (2020-2022)

لاین های امیدبخش جو Barley promising lines	کرج Karaj		ورامین Varamin		نیشابور Neishabour		مشهد Mashhad		بیرجند Birjand		یزد Yazd		اصفهان Isfahan		شیراز Shiraz		میانگین کل Total mean
	۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021	۱۴۰۱-۱۴۰۰ 2021-2022	۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021	۱۴۰۱-۱۴۰۰ 2021-2022	۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021	۱۴۰۱-۱۴۰۰ 2021-2022	۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021	۱۴۰۱-۱۴۰۰ 2021-2022	۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021	۱۴۰۱-۱۴۰۰ 2021-2022	۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021	۱۴۰۱-۱۴۰۰ 2021-2022	۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021	۱۴۰۱-۱۴۰۰ 2021-2022	۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021	۱۴۰۱-۱۴۰۰ 2021-2022	
1	7556	8020	7775	6353	5964	5872	6350	3803	5867	6506	3556	4769	5946	8245	5889	6467	6184
2	8283	6970	5997	5647	5444	5853	6458	4521	5961	7144	3589	3471	6664	7799	5511	4963	5892
3	8667	9120	6469	6394	6033	6542	5822	6604	6883	7994	5508	5810	7013	7653	6856	3403	6673
4	9156	8530	7781	5875	6575	5231	6453	5424	7022	7478	4975	6354	6549	7819	5861	5526	6663
5	8922	7580	5978	5628	5339	4531	6978	5868	6439	6794	5381	4060	5733	8618	4617	4447	6057
6	7578	7130	7775	5931	5725	5708	6425	5529	5050	6211	5883	4276	5603	7958	6289	3956	6064
7	6489	7120	7069	6753	4892	4758	6306	4601	6156	6628	5264	4416	6113	6678	4250	3321	5676
8	9039	8690	7303	6519	5814	4333	6344	4076	6300	6656	4061	5547	5615	7181	5394	4577	6090
9	7800	8400	8333	6025	5269	5467	5978	3903	6700	6394	3992	5238	5582	7493	4483	4596	5978
10	7594	7850	6381	7789	5708	5319	6483	4292	5678	6239	3158	4958	4815	6593	4461	3627	5684
11	9528	8590	7525	7106	5889	5886	7169	4924	6128	6339	3875	5944	5844	6523	6972	4344	6412
12	7794	8620	6900	6122	4928	5319	6122	5390	6772	7428	5444	5603	5638	7704	5789	4406	6249
13	8233	7990	8097	6431	5567	5217	6353	6153	6483	6961	4622	5734	5669	8451	4517	4967	6340
14	7567	8090	4019	6081	5086	4783	5689	2412	6672	7128	4108	5248	5272	6708	5756	3814	5527
15	8211	7870	6697	5531	5519	4708	6247	3563	5817	7356	3972	4738	5433	7576	6439	4774	5903
16	8256	7730	9256	6281	5256	4375	6103	4640	7361	7050	5639	4674	5277	6699	5233	4851	6168
17	6672	7630	8761	5622	5153	4514	6061	5344	5683	6600	4281	4303	5590	8741	5117	4769	5927
18	9083	8720	6603	5992	5394	4025	6222	5406	4906	7583	5097	4279	5872	8319	6178	5363	6190
19	8144	7900	6125	7233	4369	3731	5908	5042	5528	5944	4592	5064	6300	7884	5211	4404	5836
20	8978	8750	7706	6347	5097	4042	6042	6338	6472	7717	4272	4913	6328	6194	6206	4302	6231

$LSD_{5\%}$: 631 kg.ha^{-1} $LSD_{1\%}$: 478 kg.ha^{-1}

منظور توجیه عملکرد دانه ژنوتیپ‌های جو مورد استفاده قرار گیرند (شکل‌های ۱ تا ۴). در شکل ۱ چند ضلعی مربوط به ژنوتیپ‌های جو در مکان‌های مختلف نشان داده شده است. نمای چند ضلعی بای‌پلات، بهترین روش برای تجسم الگوهای برهمکنش بین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و تفسیر صحیح یک بای‌پلات است (Yan *et al.*, 2010). این چند ضلعی از به هم پیوستن ژنوتیپ‌هایی که دورترین فاصله را از مبدأ پلات دارند (ژنوتیپ‌های رأس)، با استفاده از خطوط مستقیم ترسیم شده و ژنوتیپ‌های دیگر در درون چند ضلعی قرار می‌گیرند. ژنوتیپ‌های رأس بردارهای طویلی در جهت‌های مربوط به خود را دارند که نشان دهنده میزان پاسخ به محیط و واکنش پذیری ژنوتیپ‌ها است. سایر ژنوتیپ‌ها در جهت‌های مربوط به خود واکنش کمتری نشان می‌دهند. نتایج نشان داد که در سال اول آزمایش ژنوتیپ‌های ۷، ۱۱، ۱۴، ۱۶ و ۱۷ و در سال دوم ژنوتیپ‌های ۳، ۵، ۱۱ و ۱۴ در رأس بردارها واقع شده بودند. در میانگین دو سال نیز ژنوتیپ‌های ۳، ۷، ۱۳، ۱۴ و ۱۶ در رأس قرار داشتند (شکل ۱). ژنوتیپ ۱۴ در هر سه روش تجزیه تکرار شده بود. ژنوتیپ ۷ در سال اول و دوم و ژنوتیپ ۳ در سال دوم و میانگین دو سال تکرار شده بودند. ژنوتیپ‌های واقع در رأس از لحاظ عملکرد دانه بهترین (۳، ۱۱ و ۱۶) و یا ضعیف‌ترین (۲، ۷ و ۱۴) ژنوتیپ‌ها در بعضی از محیط‌ها بودند، زیرا بیشترین فاصله از مرکز بای‌پلات را داشتند. خطوط عمود به ضلع‌های چند ضلعی، بای‌پلات را به چند بخش تقسیم کرده و هر بخش دارای یک ژنوتیپ رأس بوده و سایر ژنوتیپ‌ها در برخی یا تمام مکان‌ها از عملکرد کمتری برخوردار بودند. در صورتی که در هر بخش که یک ژنوتیپ رأس وجود دارد هیچ مکانی وجود نداشته باشد، نشان می‌دهد که ژنوتیپ رأس در هیچ یک از محیط‌ها برترین ژنوتیپ نیست. به عنوان مثال در حالت استفاده از میانگین دو سال، در بخش‌هایی که ژنوتیپ‌های رأس ۱۴، ۷ و ۱۳ قرار داشتند، هیچ مکانی وجود ندارد و این نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌ها در هیچ کدام از محیط‌ها برترین نبودند. بر اساس اطلاعات شکل ۱ در سال اول آزمایش، محیط‌ها در دو گروه و ژنوتیپ‌ها در هشت گروه قرار گرفتند.

در گروه محیطی اول، ایستگاه‌های ورامین، یزد و بیرجند قرار گرفتند و ژنوتیپ رأس در این گروه، ژنوتیپ ۱۶ بود. محیط دوم شامل ایستگاه‌های کرج، شیراز، اصفهان، مشهد و نیشابور با ژنوتیپ رأس ۱۱ بود. در سال دوم، محیط‌ها در چهار گروه و ژنوتیپ‌ها در هشت گروه تقسیم بندی شدند. در سال دوم ایستگاه‌های اصفهان، شیراز و ورامین هر کدام در محیط‌های جداگانه‌ای قرار گرفتند و در یک محیط کلان ایستگاه‌های کرج، مشهد، بیرجند، نیشابور و یزد قرار گرفتند. ژنوتیپ برتر این بخش ژنوتیپ ۳ بود. در میانگین دو سال محیط‌ها در سه گروه و ژنوتیپ‌ها در هفت گروه تقسیم بندی شدند. در این حالت ایستگاه‌های ورامین و مشهد هر کدام در یک محیط جداگانه و ایستگاه‌های کرج، یزد، شیراز، نیشابور، اصفهان و بیرجند در یک محیط کلان دیگر قرار گرفتند و ژنوتیپ برتر این گروه ژنوتیپ ۳ و ژنوتیپ ۴ نیز کاملا چسبیده به ژنوتیپ رأس بود. ژنوتیپ ۳ در دو حالت سال دوم و میانگین دو سال به عنوان ژنوتیپ برتر برای گروهی بود که بیشترین ایستگاه‌ها را شامل می‌شد. ژنوتیپ‌های موجود در هر گروه محیطی شباهت زیادی به یکدیگر داشتند. به عنوان مثال ژنوتیپ‌های ۴، ۸، ۱۲ و ۱۸ در حالت میانگین دو سال از نظر عملکرد و سازگاری مشابه ژنوتیپ برتر ۳ بودند. گزارش شده است که به علت وجود برهمکنش کراس اوری، رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف متفاوت است (Yan and Tinker, 2005). طاهریان و همکاران (Taherian *et al.*, 2022) سازگاری و پایداری عملکرد دانه ۱۹ لاین‌های امیدبخش جو را همراه با رقم بهرخ (شاهد) در اقلیم معتدل ایران در هشت ایستگاه



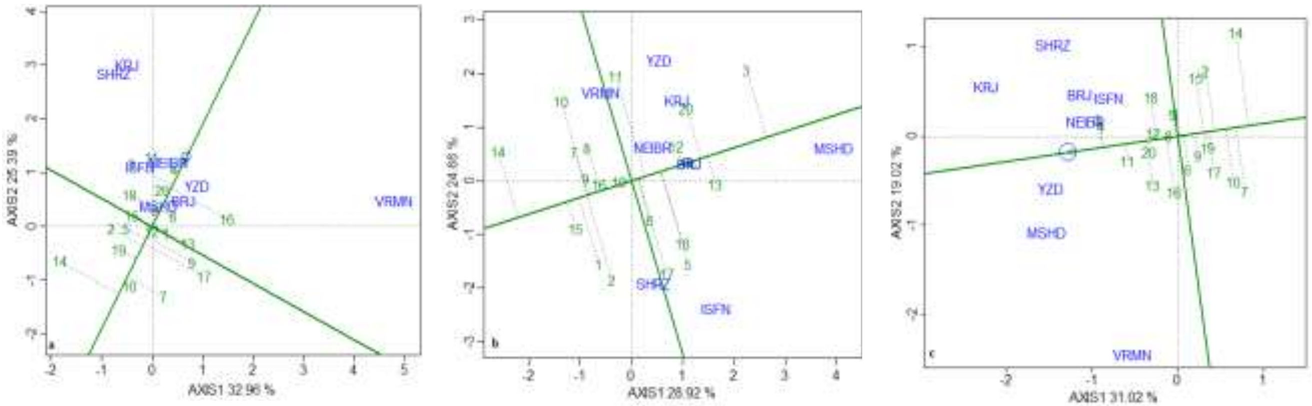
شکل ۱- نمایش گرافیکی انطباق لاین‌های امیدبخش جو با محیط‌های مورد مطالعه

KRJ: کرج، VRMN: ورامین، NEIBR: نیشابور، MSHD: مشهد، BRJ: بیرجند، YZD: یزد، ISFN: اصفهان، SHRZ: شیراز. a: سال اول (۱۴۰۰-۱۳۹۹)، b: سال دوم (۱۴۰۱-۱۴۰۰) و c: میانگین دو سال

Fig. 1. Graphical display for promising lines of barley adapted to the test environments

KRJ: Karaj, VRMN: Varamin, NEIBR: Neishabour, MSHD: Mashhad, BRJ:Birjand, YZD: Yazd, ISFN: Isfahan, SHRZ: Shiraz

a: first year (2020-2021), b: second year (2021-2022) and c: average of two years



شکل ۲- بای‌پلات رتبه‌بندی لاین‌های امیدبخش جو بر اساس میانگین عملکرد و پایداری

KRJ: کرج، VRMN: ورامین، NEIBR: نیشابور، MSHD: مشهد، BRJ: بیرجند، YZD: یزد، ISFN: اصفهان، SHRZ: شیراز، a: سال اول (۱۴۰۰-۱۳۹۹)، b: سال دوم (۱۴۰۱-۱۴۰۰) و c: میانگین دو سال)

Fig. 2. Ranking biplot of promising lines of barley based on the average yield and stability. KRJ: Karaj, VRMN: Varamin, NEIBR: Neishabour, MSHD: Mashhad, BRJ:Birjand, YZD: Yazd, ISFN: Isfahan, SHRZ: Shiraz, a: first year (2020-2021), b: second year (2021-2022) and c: average of two years

تحقیقاتی (کرج، ورامین، نیشابور، مشهد، بیرجند، زرقان و اصفهان) مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج حاصل، محیط‌ها در چهار گروه و ژنوتیپ‌ها در هشت گروه تقسیم بندی شدند. اولین گروه محیطی شامل ورامین، دومین گروه محیطی شامل کرج و زرقان، سومین گروه محیطی شامل ایستگاه‌های مشهد و نیشابور و محیط چهارم شامل ایستگاههای اصفهان، یزد و بیرجند بود.

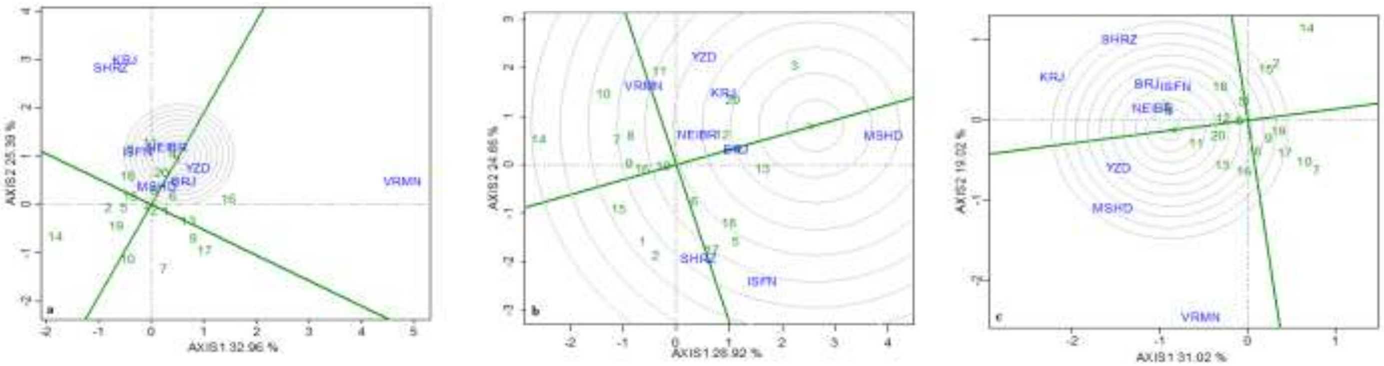
برای ارزیابی هم‌زمان عملکرد و پایداری ژنوتیپ‌ها از نمودار مختصات محیط متوسط (AEC) استفاده شد (Ahakpaz and Ahakpaz, 2014). نمودار مختصات محیط متوسط، اطلاعات مفیدی را در رابطه با نحوه تظاهر ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی در تجزیه GGEبای پلات ارائه می‌دهد (Samonte *et al.*, 2005). رتبه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس میانگین عملکرد دانه و میزان پایداری در محیط‌های مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. این نمودار، بای‌پلات میانگین در مقابل پایداری نیز نامیده می‌شود. در این شکل یک محیط متوسط تعریف شده است که با یک دایره کوچکنشان داده شده است. این محیط متوسط با استفاده از میانگین نمره‌های مولفه اصلی اول و دوم (PC1 و PC2) محیط‌ها تعریف شده و خطی که از مبدأ بای‌پلات و محیط متوسط عبور می کند (محور افقی) را می‌توان به عنوان محور محیط متوسط در نظر گرفت. محور افقی نشان دهنده پایداری است و هر ژنوتیپی که به محور افقی نزدیک‌تر باشد، پایدارتراست. محور عمودی که از مبدأ بای‌پلات می گذرد و عمود بر محور افقی است، میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها را نشان می‌دهد. ژنوتیپ‌های موجود در سمت محیط متوسط دارای عملکرد بالاتر و ژنوتیپ‌های موجود در سمت مخالف محیط متوسط، دارای عملکرد پایین‌تر از میانگین کل می‌باشند. با استفاده از این بای‌پلات (شکل۲) مشخص شد که در میانگین دو سال ژنوتیپ‌های ۸ و ۱۲ با طول خطوط کمتری به خطوط افقی عمود شده و از جمله ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایدار بودند، ولی رتبه عملکرد ۱۰ و ۵ را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی به خود اختصاص دادند. در سال دوم آزمایش ژنوتیپ ۳ با وجود دارا بودن بیشترین عملکرد دانه، به علت فاصله زیاد از محور افقی به‌عنوان ژنوتیپ با پایداری کمتر شناخته شد. در همین سال ژنوتیپ ۱۹ با دارا بودن فاصله کم از محور افقی به عنوان پایدارترین ژنوتیپ شناخته شد، در حالی که دارای عملکرد کمتر از میانگین کل بود و رتبه ۱۳ را در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی دارا بود (جدول ۲). با توجه به موارد ذکر شده، نتیجه گرفته می‌شود که گزینش هم‌زمان عملکرد بالا و پایداری بالا امکان‌پذیر نبوده و لازم است ژنوتیپ‌های حد واسط انتخاب شوند. برای این منظور از بای‌پلات ژنوتیپ مطلوب استفاده شد (شکل ۳).

در شکل‌های ۲ و ۳ دایره‌های واقع بر روی محور افقی، نشان دهنده ژنوتیپ مطلوب است. ژنوتیپ مطلوب فرضی براساس پرمحصول‌ترین ژنوتیپ و پایدارترین عملکرد مشخص شده و به عنوان مرجع برای ارزیابی سایر ژنوتیپ‌ها استفاده می‌شود. هر ژنوتیپی که نزدیک‌ترین فاصله را به ژنوتیپ فرضی داشته باشد، به عنوان ژنوتیپ برتر محسوب می‌شود (Yan and Kang, 2003). در سال اول آزمایش نزدیکترین ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ مطلوب، ژنوتیپ‌های ۳، ۴ و ۱۱ بودند. در سال دوم ژنوتیپ‌های ۴ و ۱۲ و در میانگین دو سال نیز ژنوتیپ‌های ۳ و ۴ نزدیکترین ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ مطلوب بودند. ژنوتیپ ۳ در سال اول آزمایش و میانگین دو سال از جمله ژنوتیپ‌های نزدیک به ژنوتیپ مطلوب بود. ژنوتیپ ۴ نیز در سال اول و دوم و میانگین دو سال، یکی از ژنوتیپ‌های نزدیک به ژنوتیپ مطلوب بود. ژنوتیپ مطلوب ژنوتیپی است که دارای بیشترین عملکرد و بالاترین پایداری است.

اگر چه آزمایش‌های چند محیطی اساسا برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها مورد استفاده قرار می گیرند،

ولی برای ارزیابی محیط‌ها نیز می‌توان از این نوع آزمایش‌ها استفاده کرد. مشخصات محیط مطلوب عبارتند از: الف- توانایی نشان دادن تفاوت بین ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی. یکی از ویژگی‌های هر محیط، قابلیت تمایز و نشان دادن تفاوت بین ژنوتیپ‌ها است و محیط‌های فاقد قابلیت تمایز نه‌تنها اطلاعات مفیدی را در مورد ارقام ارائه نمی‌کنند، بلکه ممکن است با اطلاعات نادرست همراه بوده و گمراه‌کننده نیز باشند. ب- نماینده بودن برای سایر محیط‌های مورد مطالعه (Yan and Kang, 2003; Yan *et al.*, 2010). یک محیط مطلوب باید تلفیقی از دو ویژگی ذکر شده (قابلیت تمایز و توانایی نماینده بودن) را برای تولید مواد ژنتیکی سازگار داشته باشد. این ویژگی‌ها تحت عنوان جداسازی محیط‌ها در مقابل نماینده بودن آنها شناخته می‌شوند (Yan and Kang, 2003; Yan and Tinker, 2005). برای شناسایی یک محیط نمونه در بای پلات، یک محیط متوسط تعریف شده و از آن به عنوان مرجع یا شاهد استفاده می‌شود. در شکل ۴، دایره کوچکی بر روی محورهای افقی پیکان‌دار مشاهده می‌شود که محل قرار گرفتن محیط مطلوب بوده و به‌عنوان محیط مطلوب مجازی محسوب می‌شود. هر چه طول بردار محیطی بیشتر و فاصله آن به محور افقی کمتر باشد، آن محیط به محیط مطلوب نزدیک‌تر است. هر قدر طول بردار محیطی بزرگ‌تر باشد، توانایی محیط در جداسازی ژنوتیپ‌ها از یکدیگر بیشتر خواهد بود. زاویه بین محیط و محور میانگین عملکرد محیطی نیز نشان دهنده نماینده بودن آن محیط برای محیط‌های مورد مطالعه است و هر قدر این زاویه کمتر باشد، نتیجه گرفته می‌شود که نماینده بهتری برای سایر محیط‌ها است. همان طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، در سال اول آزمایش ایستگاه نیشابور و بعد از آن ایستگاه‌های بیرجند، یزد و کرج دارای کمترین زاویه با محور میانگین عملکرد محیطی بودند. این ایستگاه‌ها نسبت به سایر ایستگاه‌ها قابلیت بیشتری برای نماینده بودن داشتند، ولی طول بردار ایستگاه کرج از سایر ایستگاه‌ها بزرگ‌تر بوده و نشان می‌دهد که این محیط توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز ژنوتیپ‌های جو را دارد. در سال دوم آزمایش ایستگاه‌های کرج، بیرجند و مشهد کمترین زاویه را با محور میانگین عملکرد محیطی داشته و ایستگاه مشهد با دارا بودن طول بردار محیطی بزرگ‌تر، توانایی بیشتری برای جداسازی و تمایز ژنوتیپ‌های جو را دارد. در میانگین دو سال، ایستگاه‌های یزد، نیشابور و کرج کمترین زاویه را با محور میانگین عملکرد محیطی داشته و از بین آنها ایستگاه کرج با دار بودن بردار محیطی بزرگ‌تر، از توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز ژنوتیپ‌های جو برخوردار بود. ایستگاه کرج در هر سه حالت تجزیه و در سال اول آزمایش و میانگین دو سال، در بین ایستگاه‌هایی که زاویه کمتری با محور میانگین عملکرد محیطی داشتند، از طول بردار بزرگ‌تری برخوردار بود که این موضوع نشان می‌دهد این ایستگاه از توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز ژنوتیپ‌های جو برخوردار است. با توجه به موارد فوق نزدیک‌ترین محیط به محیط مطلوب را می‌توان ایستگاه کرج در نظر گرفت. طاهریان و همکاران (Taherian *et al.*, 2022) نیز با ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه لاین‌های امید بخش جو در اقلیم معتدل کشور گزارش کردند که ایستگاه کرج به شرایط محیط مطلوب نزدیک‌تر بود و می‌توان در مراحل ابتدایی برنامه‌های به‌نژادی جو برای اقلیم معتدل ایران، از این مکان برای ارزیابی اولیه عملکرد دانه و پایداری ژنوتیپ‌های پیشرفته استفاده کرد. برای تصمیم‌گیری در مورد این موضوع که آیا می‌توان از یک مکان آزمایشی برای ارزیابی ژنوتیپ‌ها استفاده کرد، باید این نکته مورد توجه قرار گیرد که آن مکان علاوه بر نماینده خوب بودن، توانایی جداسازی و ایجاد تمایز کافی بین ژنوتیپ‌ها را نیز داشته باشد (Yan *et al.*, 2007).

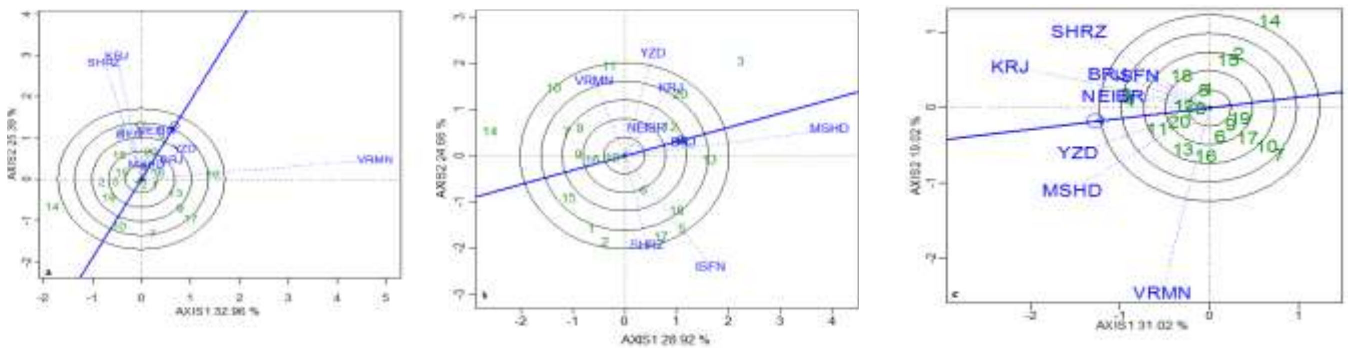
پیشرفت در برنامه‌های به‌نژادی گیاهان زراعی برای



شکل ۳- مقایسه لاین‌های امید بخش جو با ژنوتیپ مطلوب بر اساس عمکرد دانه و پایداری عملکرد

KRJ: کرج، VRMN: ورامین، NEIBR: نیشابور، MSHD: مشهد، BRJ: بیرجند، YZD: یزد، ISFN: اصفهان، SHRZ: شیراز. a: سال اول (۱۴۰۰-۱۳۹۹)، b: سال دوم (۱۴۰۱-۱۴۰۰) و c: میانگین دو سال

Fig. 3. Comparison of promising lines of barley with ideal genotype based on grain yield and stability. KRJ: Karaj, VRMN: Varamin, NEIBR: Neishabour, MSHD: Mashhad, BRJ:Birjand, YZD: Yazd, ISFN: Isfahan, SHRZ: Shiraz, a: first year (2020-2021), b: second year (2021-2022) and c: average of two years



شکل ۴- روابط بین مکان‌ها (محیط‌ها) و مقایسه آنها از نظر قابلیت "تفکیک بین ژنوتیپ‌ها در مقابل نماینده بودن" آن‌ها

KRJ: کرج، VRMN: ورامین، NEIBR: نیشابور، MSHD: مشهد، BRJ: بیرجند، YZD: یزد، ISFN: اصفهان، SHRZ: شیراز. a: سال اول (۱۴۰۰-۱۳۹۹)، b: سال دوم (۱۴۰۱-۱۴۰۰) و c: میانگین دو سال

Fig. 4. Relationship between locations (environments) and their comparison in terms of "discriminative vs. representative". KRJ: Karaj, VRMN: Varamin, NEIBR: Neishabour, MSHD: Mashhad, BRJ:Birjand, YZD: Yazd, ISFN: Isfahan, SHRZ: Shiraz, a: first year (2020-2021), b: second year (2021-2022) and c: average of two years

صفات کمی وابسته به وجود برهمکنش بین ژنوتیپ و محیط است و هر چه این برهمکنش بیشتر باشد، انتخاب ژنوتیپ‌های مطلوب بر اساس فنوتیپ آن‌ها مشکل‌تر خواهد بود. برهمکنش بین ژنوتیپ و محیط برای صفات کمی همچون عملکرد دانه که توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شود از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، بنابراین ارزیابی این اثر در آزمایش‌های چند محیطی بسیار مهم است، زیرا ممکن است باعث کاهش پیشرفت ناشی از گزینش شود. برای آنکه ژنوتیپی بتواند از نظر تجاری به یک رقم موفق تبدیل شود، ابتدا باید در محیط‌های مختلف شود تا پایداری عملکرد و سازگاری آن به عموم مناطق یا برخی از مناطق خاص ارزیابی شود. برای همین منظور، به‌نژادگران آزمایش‌های مقایسه عملکرد را در چند مکان‌ها و سال اجرا می‌کنند تا بتوانند سهم برهمکنش ژنوتیپ و محیط را تعیین کنند. ژنوتیپ مطلوب علاوه بر دارا بودن میانگین عملکرد دانه مطلوب در محیط‌های مورد مطالعه، دارای پایداری عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه نیز باشد. چنین ژنوتیپی دارای بیشترین طول روی بردار میانگین ژنوتیپ‌ها بوده و حداقل نقش را در برهمکنش ژنوتیپ و محیط دارا باشد. از نظر مکانی، ژنوتیپ مطلوب در مرکز دوایر متحدالمرکز قرار گرفته و فاصله لاین‌ها از ژنوتیپ مطلوب، میزان مطلوبیت آن‌ها را مشخص می‌کند.

روش تجزیه گرافیکی GGE بای‌پلات به دلیل استفاده هم‌زمان از اثر اصلی ژنوتیپ و برهمکنش ژنوتیپ و محیط نتایج جامع و قابل قبول‌تری را ارائه نموده و ژنوتیپ‌هایی که از این طریق انتخاب می‌شوند دارای عملکرد بالا و پایدار در محیط‌های مورد ارزیابی خواهند بود. روش GGE بای‌پلات توسط سایر محققان در گیاه جو استفاده شده است (Maniruzzaman *et al.*, 2019; Barati *et al.*, 2021; Barati *et al.*, 2022; Ghazvini *et al.*, 2022; Taherian *et al.*, 2022).

براتی و همکاران (Barati *et al.*, 2020) به‌منظور بررسی پایداری عملکرد دانه در لاین‌های امیدبخش جو با استفاده از روش GGE بای‌پلات، چهار لاین برتر (G10, G17, G18, G19) را برای مناطق گرم کشور شناسایی کردند. نتایج آنان نشان داد که از بین مکان‌های مورد بررسی، ایستگاه گنبد دارای تمایز بالایی بوده و تفاوت‌های بین لاین‌ها را به‌خوبی نشان داد و مغان کمترین مقدار تمایز را داشت.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که ژنوتیپ‌های ۳، ۴، ۱۱، ۱۲ و ۱۳ نسبت به رقم بهرخ (شاهد) و سایر ژنوتیپ‌ها عملکرد بالاتری داشته و می‌توانند مورد توجه قرار گیرند. در سال اول آزمایش، ژنوتیپ‌های ۳، ۴ و ۱۱، در سال دوم ژنوتیپ‌های ۱۲ و ۴ و در میانگین دو سال ژنوتیپ‌های ۳ و ۴ نزدیک‌ترین ژنوتیپ‌ها به ژنوتیپ مطلوب بودند. با در نظر گرفتن موارد مطرح شده، لاین‌های ۳ و ۴ به عنوان لاین‌های دارای عملکرد مطلوب و پایدار برای کشت در مناطق معتدل و یا استفاده در برنامه‌های به‌نژادی جو آبی ایران شناخته شدند. تلاقی اولیه این ژنوتیپ‌ها در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ با هدف دست‌یابی به ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا و سازگار به مناطق هدف در کرج انجام شد و پس از ارزیابی همراه با سایر دورگ‌های ایجاد شده در نسل‌های در حال تفکیک و رسیدن به خلوص ژنتیکی انتخاب شدند. این ژنوتیپ‌ها همراه با سایر مواد انتخابی، در ادامه فرایند به‌نژادی در ایستگاه‌های مناطق معتدل کشور شامل کرج، بیرجند، ورامین، نیشابور، مشهد، یزد، اصفهان و شیراز در قالب آزمایش ارزیابی مشاهده‌ای، مقایسه عملکرد مقدماتی و مقایسه عملکرد پیشرفته مورد ارزیابی قرار گرفته و به دلیل دارا بودن عملکرد بالا و صفات مطلوب زراعی انتخاب شده و از سال ۱۳۹۹ همراه با سایر مواد انتخابی (۱۷ ژنوتیپ) از مراحل مختلف برنامه به‌نژادی، در آزمایش ارزیابی سازگاری و پایداری عملکرد دانه به مدت دو سال مورد بررسی قرار گرفته و به دلایل ذکر شده انتخاب شدند.

ژنوتیپ ۳ با شجره -26216/4/Arar/3/Mari/Aths*2//M

Att-73-337-1/5/Nosrat حاصل از دورگ‌گیری در برنامه به‌نژادی جو آبی در ایران است. این ژنوتیپ حاصل از تلاقی رقم نصرت (والد پدری) و لاین 26216/4/Arar/3/Mari/Aths*2//M-Att-73-337-1 (والد مادری) است. رقم نصرت حاصل از تلاقی رقم کویر (والد پدری) کارون (والد مادری) است. این رقم از سازگاری وسیع و پایداری عملکرد دانه قابل توجهی برخوردار بوده و در برابر تنش سرما نیمه‌حساس بوده و خسارت تنش سرما در این رقم در مناطق معتدل سرد کشور چندان شدید نیست. والد مادری این ژنوتیپ، یکی از لاین‌های انتخابی آزمایش سازگاری اجرا شده در سال‌های زراعی ۸۷-۱۳۸۵ در ایستگاه‌های کرج، نیشابور، بیرجند، زرقان، ورامین، اصفهان و یزد است که در بین مواد مورد بررسی بیشترین عملکرد را داشت (Anonymous, 2008). این لاین در برابر تنش خشکی انتهای فصل متحمل است (Tajalli *et al.*, 2013). خماری و همکاران (Khomari *et al.*, 2018)، با هدف شناسایی واکنش ارقام جو در هر یک از مناطق مورد بررسی بر اساس مدل اثرات اصلی افزایشی و اثرات متقابل ضرب پذیر و برهمکنش ژنوتیپ و محیط و تعیین میزان پایداری آنها، تعداد ۱۰ رقم جو زمستانه (گرگان ۴، ریحان، کویر، نصرت، نیمروز، والفجر، ماکویی، زرجو، گرگان و استرین) را در پنج مکان کرج، بیرجند، کاشمر، شیراز و سنندج مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد اثرات اصلی ژنوتیپ، برهمکنش ژنوتیپ و محیط و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و اولین مؤلفه اصلی برهمکنش ژنوتیپ و محیط به تنهایی حدود ۷۶ درصد از مجموع مربعات برهمکنش را تبیین کرد. برهمکنش ژنوتیپ و محیط ۲۵ درصد از مجموع مربعات کل را به خود اختصاص داد و رقم نصرت با دارا بودن عملکرد بالاتر از میانگین کل به‌عنوان رقم پایدار با عملکرد بالا شناخته شد.

ژنوتیپ ۴ با شجره 82S:510/3/Arinar/Aths//DS 29/4/Sahra نیز حاصل از دورگ‌گیری برنامه به‌نژادی جو آبی ایران است. این لاین حاصل از تلاقی رقم صحرا (والد پدری) و لاین 82S:510/3/Arinar/Aths//DS 29 (والد مادری) است. رقم صحرا از بین مواد دریافتی از مرکز تحقیقات بین المللی ذرت و گندم (سیمیت) انتخاب شده است. این رقم متحمل به دمای بالا بوده و در برابر ریزش دانه و خوابیدگی بوته نیز دارای مقاومت است. والد مادری این تلاقی لاین ۱۰ آزمایش بررسی سازگاری و پایداری عملکرد لاین‌های امید بخش جو در اقلیم معتدل بود که در سال ۸۹-۱۳۸۷ اجرا شد. در آزمایش حاضر، این ژنوتیپ بالاترین مقدار عملکرد را در بین مواد ژنتیکی مورد ارزیابی داشت (Anonymous, 2010). این ژنوتیپ در برنامه‌های به‌نژادی جو به عنوان یکی از والدین تلاقی مکرر استفاده شد و ژنوتیپ ۴ این آزمایش نیز یکی از نتاج حاصل از تلاقی این ژنوتیپ با رقم صحرا است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که لاین‌های امیدبخش جو ۳ و ۴ جزء لاین‌های برتر از نظر عملکرد دانه و پایداری بوده و می‌توان از آنها برای ادامه ارزیابی در شرایط زارع استفاده کرد. این ژنوتیپ‌ها در صورت حفظ برتری نسبت به ارقام رایج، به‌عنوان رقم/های جدید قابل معرفی بوده و یا در برنامه‌های به‌نژادی جو آبی قابل استفاده هستند. در بین هشت مکان مورد مطالعه، ایستگاه کرج از توانایی بیشتری در جداسازی و تمایز بین ژنوتیپ‌ها و نماینده بودن سایر محیط‌ها برخوردار بود و به عنوان مکان آزمایش مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر شناخته شد.

سپاسگزاری

این مقاله از پروژه تحقیقاتی با شماره ۹۹۱۱۱۴-۱۳۴-۰۳-۰۳-۰ مصوب موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر استخراج شده است. بدینوسیله از مساعدت همکاران ایستگاه‌های تحقیقاتی کرج، ورامین، نیشابور، مشهد، بیرجند، یزد، اصفهان و شیراز تشکر و قدردانی می‌شود.

References

منابع مورد استفاده

Ahakpaz, F., Abdi, H., Neyestani, E., Hesami, A., Mohammadi, B., Nader Mahmoudi, K., Abedi-Asl, G., Jazayeri Noshabadi, M. R., Ahakpaz, F. and Alipour, H. 2021. Genotype-by-environment interaction analysis for grain yield of barley genotypes under dryland conditions and the role of monthly rainfall. *Agricutural Water Management,* 245, 10665. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106665

Azakpaz, F. and Ahakpaz, F. 2014. Stability analysis of barley lines and cultivars grain yield using GGE biplot model. *Agroecology Journal,* 9(4), pp.1-12. [In Persian].

Anonymous. 2008. Barley Breeding Annual Report 2007-2008. Seed and Plant Improvement Institute. pp.221. [In Persian].

Anonymous. 2010. Barley Breeding Annual Report 2009-2010. Seed and Plant Improvement Institute. pp.227. [In Persian].

Anonymous. 2023. Agricultural Statistics of 2021-2022 Cropping Season. Ministry of Agriculture-Jihad, Vol. 1. [In Persian].

GENSTAT. 2008. GENSTAT (12^{th} Ed). VSN International Ltd. https://www.vsni.co.uk. Accessed July 2009.

Barati, A., Zali, H., Lakzadeh, I., Koohkan, Sh., Jafarby, J., Hosseinpour, A., Jabbari, M., Marzoghiyan, A., Gholipour, A., Poodineh, O. and Kheirgo, M. 2022. Study of grain yield stability of barley promising lines in warm regions using GGE biplot. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production,* 32, pp.65-78. [In Persian]. https://doi.org/10.22034/saps.2021.44929.2648

Barati, A., Lakzadeh, I., Jabari, M., Poodineh, O., Alt Jafarby, J., Shahbazi Homonlo, K., Gholipour, G. and Tabatabaei Fard, N.A. 2020. Evaluation of grain yield stability of irrigated barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in warm regions of Iran using GGE biplot analysis. *Iranian Journal of Crop Sciences,* 22, pp.212- 224. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1399.22.3.1.2

Barati A., Zali, H., Pour-Aboughadareh, A., Gholipour, A., Koohkan, Sh., Shahbazi Homounlo, K., Jabbari, M., Poodine, O. and Kheirgoo, M. 2021. Identification of irrigated barley genotypes with high and stable grain yield in warm regions of Iran. *Journal of Crop Breeding,* 13(40), pp.162-172. [In Persian]. https://doi.org/10.52547/jcb.13.40.162

Erdemci, I. 2018. Investigation of genotype × environment interaction in chickpea genotypes using AAMI and GGE biplot analysis. *Turkish Journal of Field Crops,* 23(1), pp.20-26. https://doi.org/10.17557/tjfc.414846

Ghazvini H., Bagherikia, S., Pour-Aboughadareh, A., Sharifalhossaini, M., Razavi, S.A., Mohammadi, S., GhasemiKalkhoran, M., Fathihafshejani, A. and Khakizade, G. 2022. GGE biplot analysis of promising barley lines in the cold regions of Iran. *Journal of Crop Improvement,* 36, pp.461–547. https://doi.org/10.1080/15427528.2021.1977448

Gumede, M. T., Gerrano, A. S., Modi, A. T. and Thungo, Z. 2022. Influence of genotype and environment on grain yield among cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) genotypes under dry land farming system. *Acta Agriculturae Scandinavica, B- Soil@ Plant Science,* 72, pp.709–719. https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2069593

Hilmarsson, H. S., Rio, S. and Sanchez, J. I. Y. 2021. Genotype by environment interaction analysis of agronomic spring barley traits in Iceland using AMMI, factorial regression model and linear mixed model. *Agronomy,* 11, pp.499.

https://doi.org/10.3390/agronomy11030499

Khalili, M. and Pour-Aboughadareh, A. 2016. Parametric and nonparametric measures for evaluating yield stability and adaptability in barley doubled haploid lines. *Journal of Agricultural Science and Technol*ogy, 18, pp.789–803. https://doi.org/20.1001.1.16807073.2016.18.3.20.2

Khomari, A., Mostafavi, Kh. and Mohammadi, A. 2018. Evaluation of yield stability of winter barley varieties (*Hordeum vulgare* L.) using additive main effects and multiplicative interaction method. *Crop Production,* 11(2), pp.185-195. https://doi.org/10.22069/ejcp.2018.13567.2043

Vaezi, B., Pour-Aboughadareh, A., Mohammadi, R., Mehraban, A., Hossein-Pour, T., Koohkan, E., Ghasemi, S., Moradkhani, H. and Siddique, K. H. M. 2019. Integrating different stability models to investigate genotype × environment interactions and identify stable and high yielding barley genotypes. *Euphytica,* 215, 63. https://doi.org/10.1007/s10681-019-2386-5

Fatemi, F., Kianersi, F., Pour-Aboughadareh, A., Poczai, P. and Jadidi, O. 2022. Overview of identified genomic regions associated with various agronomic and physiological traits in barley under abiotic stresses. *Applied Sciences*, 12(10), 5189. https://doi.org/10.3390/app12105189

Ebem, E. C., Afuape, S. O., Chukwu, S. C. and Ubi, B. E. 2021. Genotype × environment interaction and stability analysis for root yield in sweet potato (*Ipomoea batatas* L. Lam). *Frontiers in Agronomy,* 3, pp.1-24. https://doi.org/10.3389/fagro.2021.665564

Maniruzzaman, M. Z., Islam, F., Begum, M. A. A., Khan, M., Amiruzzaman, M. and Hossain, A. 2019. Evaluation of yield stability of seven barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes in multiple environments using GGE biplot and AMMI model. *Open Agriculture*, 4, pp.284-293. https://doi.org/10.1515/opag-2019-0027

Moussa, S. A. M., Hala, A. A. E. and Nashwa, I. A. E. 2011. Stability study of sweet potato yield and its component characters under different environments by joint regression analysis. *Journal of Horticultural Science& Ornamental Plants,* 3, pp.43–54. https://doi.org/10.5897/AJMR11.054

Rad, M. N., Kadri, M. A., Rafii, M., Jaafar, H. Z., Naghavi, M. R. and Ahmadi, F. 2013. Genotype environment interaction by AMMI and GGE biplot analysis in three consecutive generations of wheat (*Triticum aestivum* L.) under normal and drought stress conditions. *Australian Journal of Crop Science,* 7(7), pp.956-961.

Sadiyah, H. and Hadi, A. F. 2016. AMMI model for grain yield estimation in multi-environment trials: A comparison to BLUP. *Agriculture and agricultural Science Procedia,* 9, pp.163-169. https://dx.doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.113

Samonte, S. O. P. B., Wilson, L. T., McClung, A. M. and Medley, J. C. 2005. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analysis. *Crop Science,* 45, pp.2414-2424. https://doi.org/10.2135/cropsci2004.0627

Solonechnyi, P., Vasko, N., Naumov, A., Solonechnaya, O., Vazhenina, O., Bondareva, O. and Logvinenko, Y. 2015. GGE biplot analysis of genotype by environment interaction of spring barley varieties. *Zemdirbyste,* 102(4), pp.431-436. https://dx.doi.org/10.13080/z-a.2015.102.055

Taherian M., Nikkhah, H. R., Aghnoum, R., Sharifi Alhoseini, M., Mahlooji, M., Taheri Mazandarani, M., Tabataei, S. A. and Hasani, F. 2022. Graphical analysis of grain yield stability for selection of suprior barley (*Hordeum vulgare* L.) promising lines in temperate regions of Iran. *Iranian Journal of Crop Science,* 24 (1), pp.78-64. [In Persian]. https://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1401.24.1.5.6

Tajalli, H., Mousavi, S. G., Baradarn, R., Saberi, M. H. and Arazmjoo, E. 2013. Evaluation of 20 barley genotypes under the terminal drought condition. *Journal of Crop Ecophysio,* 7 (1), pp.91-104. [In Persian].

Xu, N. Y., Fok, M., Zhang, G. W., Li, J. and Zhou, Z. G. 2013. The application of GGE biplot analysis for evaluating test locations and mega-environment investigation of cotton regional trials. *Journal of Integrative Agriculture,* 13(9), pp.1921-1933. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(13)60656-5

Yan, W and Kang, M.S. 2003. GGE biplot analysis: A Graphical Tool for Breeders, Geneticists and Agronomists. CRC Press Inc, Boca Raton, USA.

Yan, W., Fregeau-reid, J. A., Pageau, D., Martin, R. A., Mitchell Fetch, J. W., Etienne, M., Rowsell, J., Scott, P., Price, M., Dehann, B., Cummiskey, A., Lajeunesse, J., Durand, J. and Sparry, E. 2010. Identifying essential test locations for oat breeding in eastern Canada. *Crop Science,* 50, pp.504-515. https://doi.org/10.2135/cropsci2009.03.0133

Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S. and Cornelius, P. L. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science,* 47(2), pp.643–655. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.06.0374

Yan, W., and Tinker, N. A. 2006. Biplot analysis of multi-environment trial data: principles and applications. *Canadian Journal of Plant Science,* 86: 623-645. https://doi.org/10.4141/P05-169

Yan, W. and Tinker, N. A. 2005. A biplot approach for investigating QTL by-environment patterns. *Molecular Breeding,* 15, pp.31–43. https://doi.org/10.1007/s11032004-1706-0